



시험방법에 따른 국내 골재의 알칼리-실리카 반응성 평가

윤경구^{1)*} · 김성권¹⁾ · 홍승호²⁾ · 한승환²⁾

¹⁾강원대학교 토목공학과 ²⁾한국도로공사 도로교통연구원 도로연구팀

Evaluation of Alkali-Silica Reactivity for Aggregates in Korea according to Test Methods

Kyong-Ku Yun,^{1)*} Seong-Kwon Kim,¹⁾ Seung-Ho Hong,²⁾ and Seung-Hwan Han²⁾

¹⁾Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University, Cuncheon 200-701, Korea

²⁾Pavement Research Group, Korea Expressway Corporation, Hwaseong 445-812, Korea

ABSTRACT The purpose of this study was to evaluate the alkali-silica reactivity for aggregates in Korea according to test methods: accelerated mortar bar test (AMBT) by ASTM C 1260; chemical test by KS F 2545 (ASTM C 289). The results are as follows: The AMBT (ASTM C 1260) results showed that two (2) igneous rocks (two mica granite and felsite), three (3) sedimentary rocks (arkose, red sandstone and shale), two (2) metamorphic rock (slate and vitric tuff), one (1) mineral (quartz) showed more expansion than 0.1% at 14 days. But, some sedimentary rocks and metamorphic rocks expanded more than 0.1 % at 28 days even though they were less than 0.1% at 14 days. Therefore, it is necessary to extend the experimental dates more than 14 days to evaluate the possibility of alkali-aggregate reactivity. The chemical test (KS F 2545) results showed that five (5) igneous rocks (andesite, diabase, granite porphyry, muscovite granite and diorite) were indicative of potentially deleterious expansion, while two (2) igneous rocks (diorite porphyry and quartz porphyry) were possible indicative of expansion, and three (3) igneous rocks (biotite granite, two mica granite and felsite) were indicative of innocuous reactivity. The above results showed that the results from chemical method (KS F 2545) and AMBT (ASTM C 1260) had little relationship.

Keywords : ASR, cement concrete pavement, KS F 2545, ASTM C 1260, reactive aggregate

1. 서 론

콘크리트구조물에 발생한 알칼리-골재 반응에 대한 최초의 연구는 1940년 Stanton¹⁾이 미국 캘리포니아 주에 건설된 콘크리트구조물에서 시공 후 수년 경과 후에 심한 불규칙한 균열이 발생하여, 원인 불명의 균열에 대한 연구에서 시작되었다. 그 후 미국 전역에서 지속적인 연구가 이루어져 골재의 알칼리 잠재 반응 시험 방법에 대한 ASTM 규정이 제정되기에 이르렀고, Sidney Diamond²⁾가 알칼리-실리카 반응이라는 명칭을 사용하기 시작하였다.

국내에서도 그동안 일부에서 화학적인 방법 (ASTM C 289)과 모르타르 봉 방법 (ASTM C 227)으로 알칼리-골재 반응에 대한 연구를 수행하여 화학적인 방법으로는 일부 골재가 반응성이 있는 것으로 보고하였으나, 모르타르 봉방법에서는 대상 골재에서 유해 가능성이 낮은 것으로 보고하였다.³⁾ 한편, 그동안 국내에서는 콘크리트 구조물에서 알칼리-실리카 반응에 의한 피해사례가 거의

보고된 바 없고, 골재의 품질도 양호한 것으로 알려져 왔다. 그러나 최근 서해안 고속도로의 일부 시멘트 콘크리트 포장 구간에서 알칼리-실리카 반응에 의한 포장 노면에 균열 및 스폴링 등의 심각한 손상이 보고됨으로서 국내에서도 알칼리-실리카 반응 판정기준 및 대책수립이 절실히 요구되어지고 있다.^{4,5)}

상기와 같이 동일한 골재에 대해 시험 방법에 따라 알칼리-실리카 반응성 판별 결과가 달라지므로, 이에 대한 고찰이 절실히 필요한 상황이다. 따라서 본 논문에서는 국내산 알칼리-실리카 반응성 암석에 대해 화학적 방법인 KS F 2545와 촉진모르타르 봉 시험 방법 (AMBT)인 ASTM C 1260으로 알칼리-실리카 반응 실험을 수행하여 시험방법에 따른 알칼리-실리카 반응 특성을 비교·분석하였다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 개요

국내 암석 종류 별 알칼리-실리카 반응 특징을 분석하

*Corresponding author E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr

Received March 31, 2008, Revised May 6, 2008, Accepted September 26, 2008

©2008 by Korea Concrete Institute

기 위하여 화학적 방법인 KS F 2545 (골재의 알칼리 잠재 반응 시험 방법)와 촉진모르타르 붕 실험 방법인 ASTM C 1260 (Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregate)을 수행하여 시험 방법에 의한 반응 특징을 분석하여 알칼리-실리카 반응성을 비교·평가하고자 하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 실험 재료

(1) 시멘트

국내 H사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다. 시멘트의 화학성분은 Table 1과 같으며, 시멘트의 등가 알칼리 함량은 0.98%로서 고알칼리 시멘트에 속한다.

(2) 골재

국내 연구에서 다양한 시험법을 통하여 잠재적인 알칼리-실리카 반응성이 도출된 골재는 안산암, 장석 반암, 현무암, 천매암, 섬장암, 산성 맥암, 화강 섬록암, 화강암, 편마암 등으로 본 연구에는 골재 범위를 확대하였으며, 사용된 골재는 Table 2와 같이 화성암 11종, 퇴적암 5종, 변성암 11종 및 광물 2종을 사용하였다.

2.3 실험 방법

2.3.1 화학적 방법인 KS F 2545

KS F 2545⁶⁾ 시험법과 JIS A 1145⁷⁾ 시험법이 시험 방법은 동일하며 알칼리-골재 반응성 판정이 약간 상이하다. 본 연구에서는 KS F 2545⁶⁾를 적용하였으며, 판정은 JIS A 1145⁷⁾로도 수행하였다.

Table 1 Chemical compositions of cement used in test

Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O _{eq}		Loss of ignition
							K ₂ O	Na ₂ O	
Percent (%)	21.0	4.29	3.35	62.1	2.27	2.35	0.98		2.73
							0.99	0.33	

Table 2 Rocks and minerals used in test

Igneous rocks (화성암)	Sedimentary rocks (퇴적암)	Metamorphic rocks (변성암)	Mineral (광물)
Rhyolite (유문암)	Red Siltstone (적색미사암)	Slate A (점판암)	Feldspar (장석)
Andesite (안산암)	Arkose (장석사암)	Slate B (점판암)	Quartz (석영)
Diabase (휘록암)	Red Sandstone (적색사암)	Phyllite (천매암)	
Granite Porphyry (화강반암)	Shale (셰일)	leucocratic Gneiss (우백질편마암)	
Diorite Porphyry (섬록반암)	Mudstone (이암)	Augen Gneiss (안구상편마암)	
Quartz Porphyry (석영반암)		Schist (편암)	
Biotite Granite (흑운모화강암)		Granite Gneiss (화강편마암)	
Two Mica Granite (복운모화강암)		Quartzite (규암)	
Muscovite Granite (백운모화강암)		Hornfels (호른펠스)	
Diorite (섬록암)		Amphibolite (각석암)	
Felsite (규장암)		Vitric tuff (유리질 응회암)	

KS F 2545⁶⁾는 골재의 알칼리-실리카 반응성을 화학적으로 평가하는 방법으로 골재를 분쇄하여 300 μm 체를 통과하고 150 μm 체에 남은 시료를 건조하여 25 ± 0.05 g 씩 3부분으로 분류한다. 3개의 반응 용기에 3부분으로 분류된 시료를 넣고 1.0 N NaOH 용액을 25 ml를 넣는다. 네 번째 용기에는 1.0 N NaOH 용액만 25 ml 넣는다.

시료가 담겨진 반응용기는 밀봉한 후 80 ± 1.0°C를 유지하는 액체 수조에 넣어 24 ± 0.25시간 동안 반응시킨 후 용기를 꺼내어 30°C 이하의 냉각수로 15 ± 2분 동안 냉각시킨다. 질량법으로 골재에서 용해되어 농출된 수산화나트륨 중의 용해 실리카양 (S_c)는 다음과 같이 계산한다.

$$S_c = 3,330 \times W \quad (1)$$

여기서

S_c : 용해 실리카양 (초기 여과액의 mmol/l)

W : 100 ml의 희석 용액에서 검출된 실리카양 (g)

알칼리 농도의 감소량 (R_c)은 다음과 같이 계산된다.

$$R_c = \frac{20N}{V_1}(V_3 - V_2) \times 1,000 \quad (2)$$

여기서

R_c : 알칼리 농도 감소량

N : 적정에 사용한 염산의 규정 농도

V₁ : 희석 용액의 체적 (ml)

V₂ : 시료에서 페놀프탈레인 종말점을 얻는데 사용된 염산의 양 (ml)

V₃ : 빈 플라스크로 페놀프탈레인 종말점을 얻는데 사용된 염산의 양 (ml)

2.3.2 촉진모르타르 붕 실험방법인 ASTM C 1260

ASTM C 1260⁸⁾은 시편 제작 후 16일 후 길이 변화를 측정하여 16일 팽창률이 0.1% 미만이면 팽창가능성이 없는 것으로, 0.1~0.2%이면 알칼리-실리카 반응 잠재성이 있는 것으로, 0.2% 이상이면 알칼리-실리카 반응성이 있는 것으로 판정하고 있다. 본 시험 방법은 골재를 Table 3과 같이 분쇄하여 사용한다. 시험에 사용되는 모르타르 붕의 배합은 시멘트 440 g, 혼합골재 990 g 및 물 206.8 g 이다. 배합에 사용된 물-시멘트 비는 0.47이다. 모르타르 붕은 25.4 × 25.4 × 295 mm 규격으로 3개/조로 제작하였다.

모르타르 붕의 양 끝단에는 길이 변화 측정을 위한 스테르드를 설치하였다. 모르타르 붕 제작은 몰드에 모르타르를 타설한 후 23°C가 유지되는 항온 항습기에서 몰드 상태로 24시간 동안 양생하였다. 1일 양생된 모르타르는 몰드에서 시편을 분리하여 모르타르의 길이를 버니어캘리퍼스로 0.001 mm까지 측정하였다. 모르타르 붕의 양 끝단에 설치된 스테르드까지의 길이를 Fig. 1과 같이 다이얼게이지가 설치된 변화 측정기로 습윤양생 전 길이를 측정하였다.

초기 측정이 완료된 시편은 폴리프로필렌 밀폐 용기에 시편이 완전히 잠기도록 물을 채워 밀폐시킨 후 80°C가 유지되는 항온기에서 24시간 수중양생을 하였다. 24시간 경과 후 영점 길이 변화 측정을 위하여 밀폐 용기에서 꺼낸 후 즉시 (15초 내 측정 완료) 물기를 제거하고 초기 길이 변화를 측정하였다. 초기 길이 변화가 측정된 모르타르 붕 시편은 1 N NaOH 용액이 담겨 있는 밀폐 용기에 넣어 80°C가 유지되는 항온기에서 길이 변화를 유도하였다. 영점 길이 변화 측정 후 시편의 길이 변화는 7일, 14일, 21일 및 28일까지 측정하였으며, 측정일 별로 모르타르 붕의 변화 상태 및 균열발생 여부를 육안으로 확인하였다.

3. 실험 결과

3.1 KS F 2545 방법에 따른 결과 고찰

화성암의 시험 결과는 Table 4에서 보는 것과 같이 안산암, 휘록암, 화강반암, 백운모 화강암 및 섬록암이 유해한 것으로 판정되었다. JIS A 1145 기준에서는 안산암, 휘록암, 화강반암, 섬록 반암, 석영 반암, 백운모 화강암 및 섬록암이 무해 아님으로 판정되어 KS F 2545 보다는 반응성이 높게 검출되었다.

퇴적암의 시험 결과는 Table 5에서 보는 것과 같이 시험대상 골재 모두 잠재유해 판정으로 나타났으며, JIS A 1145 기준으로는 세일은 무해로 판정되었다.

변성암의 시험 결과는 Table 6에서 보는 것과 같이 점판암 B, 화강 편마암 및 규암이 유해한 것으로 판정되었으나 JIS A 1145 기준으로는 점판암, 편암, 화강 편마암, 규암 및 각섬암이 무해 아님으로 판정되었다.

광물의 시험 결과는 Table 7에서 보는 것과 같이 석영

Table 3 Requirement of aggregate grading for ASTM C 1260 test⁹⁾

Sieve size		Mass (%)
Passing	Retained on	
4.75 mm (No.4)	2.36 mm (No.8)	10
2.36 mm (No.8)	1.18 mm (No.16)	25
1.18 mm (No.16)	600 μm (No.30)	25
600 μm (No.30)	300 μm (No.50)	25
300 μm (No.50)	150 μm (No.100)	15

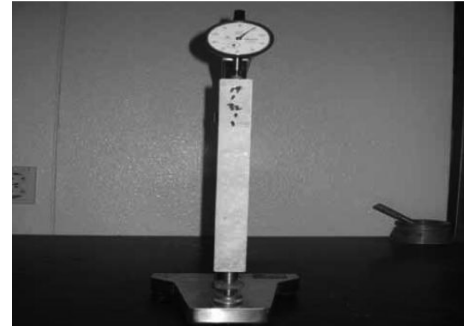


Fig. 1 Comparator length reading

이 잠재유해 판정으로 나타났으나, JIS A 1145 기준에서는 장식과 석영이 무해 아님으로 판정되었다.

3.2 ASTM C 1260 방법에 따른 결과 고찰

3.2.1 화성암

ASTM C 1260에 의한 화성암에 대한 모든 팽창 실험 결과를 Table 8에 나타내었다. 화성암 중 화산암인 유문암의 알칼리-실리카 반응 실험 결과는 14일에 0.023% 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 안산암의 실험 결과도 14일에 0.005%가 팽창하여 반응성이 없는 것으로 나타났다.

화성암 중 반심성암인 휘록암은 14일에 0.027%의 팽창이 발생하여 반응성이 없었으며, 화강 반암은 14일에 0.005%로 팽창이 거의 발생하지 않아 반응성이 없는 것으로 나타났다. 섬록 반암은 0.021%, 심성암인 흑운모 화강암은 0.031%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났다.

복운모 화강암은 14일에 0.133%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났다. 복운모 화강암 시편은 시간 경과에 따라 팽창이 증가되는 것을 볼 수 있었으며, 재령 24일에 0.197%까지 팽창이 발생하는 것으로 실험되었다. 백운모 화강암은 14일에 -0.001%의 수축이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났다. 섬록암은 14일에 0.017%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났다. 화성암 중 비현정질인 규장암은 14일에 0.163%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났으며, 시간경과에 따라 28일 재령에 0.237%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다.

화성암 골재 11종 중에서 14일 재령에 0.1% 이상의 팽

Table 4 Test results of igneous rocks by KS F 2545

Type of rock	S_c	R_c	S_c/R_c	KS F 2545 ⁶⁾	JIS A 1145 ⁷⁾
Rhyolite (유문암)	31.7	49.0	0.65	None	None
Andesite (안산암)	84.9	24.0	3.54	Reactive	Possible Reactive
Diabase (휘록암)	94.6	31.0	3.05	Reactive	Possible Reactive
GranitePorphyry (화강반암)	103.9	80.0	1.30	Reactive	Possible Reactive
DioritePorphyry (섬록반암)	128.0	103.0	1.24	Possible Reactive	Possible Reactive
QuartzPorphyry (석영반암)	104.6	85.0	1.23	Possible Reactive	Possible Reactive
Biotite Granite (흑운모화강암)	50.1	55.0	0.91	None	None
Two MicaGranite (복운모화강암)	49.3	72.0	0.68	None	None
MuscoviteGranite (백운모화강암)	46.2	37.0	1.25	Reactive	Possible Reactive
Diorite (섬록암)	142.2	60.0	2.37	Reactive	Possible Reactive
Felsite (규장암)	19.2	32.0	0.60	None	None

Table 5 Test results of sedimentary rocks by KS F 2545

Type of rock	S_c	R_c	S_c/R_c	KS F 2545 ⁶⁾	JIS A 1145 ⁷⁾
Red Siltstone (적색미사암)	128.0	120.0	1.07	Possible Reactive	Possible Reactive
Arkose (장석사암)	131.0	109.0	1.20	Possible Reactive	Possible Reactive
Red Sandstone (적색사암)	131.0	114.0	1.15	Possible Reactive	Possible Reactive
Shale (셰일)	114.0	130.0	0.88	Possible Reactive	None
Mudstone (이암)	130.0	127.0	1.02	Possible Reactive	Possible Reactive

창이 발생한 골재는 Table 8과 같이 복운모 화강암, 규장암이 반응성이 있는 것으로 실험되었다. 다른 8종의 골재는 28일 재령에 0.05% 이하의 팽창이 발생하여 알칼리-실리카 반응이 발생하지 않은 것으로 판단할 수 있다.

3.2.2 퇴적암

퇴적암에 대한 모든 팽창 실험 결과를 Table 9에 나타내었다. 적색미사암은 14일에 0.06%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 시간경과에 따라 28일 재령에 0.169%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 장석사암은 14일에 0.117%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 28일

Table 6 Test results of metamorphic rocks by KS F 2545

Type of rock	S_c	R_c	S_c/R_c	KS F 2545 ⁶⁾	JIS A 1145 ⁷⁾
Slate A (점판암 A)	48.6	48.0	1.01	None	Possible Reactive
Slate B (점판암 B)	62.3	102.0	0.61	Reactive	None
Phyllite (천매암)	19.3	27.0	0.71	None	None
leucocratic Gneiss (우백질편마암)	26.3	33.0	0.80	None	None
Augen Gneiss (안구상편마암)	40.6	45.0	0.90	None	None
Schist (편암)	31.0	28.0	1.11	None	Possible Reactive
Granite Gneiss (화강편마암)	57.6	52.0	1.11	Reactive	Possible Reactive
Quartzite (규암)	57.6	38.0	1.52	Reactive	Possible Reactive
Hornfels (호른펠스)	16.0	24.0	0.67	None	None
Amphibolite (각석암)	102.6	95.0	1.08	Possible Reactive	Possible Reactive
Vitric tuff (유리질 응회암)	95.9	117.0	0.82	Possible Reactive	None

Table 7 Test results of mineral by KS F 2545

Type of rock	S_c	R_c	S_c/R_c	KS F 2545 ⁶⁾	JIS A 1145 ⁷⁾
Feldspar (장석)	33.0	32.0	1.03	None	Possible Reactive
Quartz (석영)	110.2	95.0	1.16	Possible Reactive	Possible Reactive

재령에 0.247%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 적색사암은 14일에 0.115%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났으며, 시간경과에 따라 28일 재령에 0.223%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 셰일은 14일에 0.15%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 28일 재령에 0.27%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 이암은 14일에 0.011%로 팽창이 거의 발생하지 않아 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 수축하는 현상이 관찰되었다.

5종의 퇴적암 중에서는 14일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 장석사암, 적색사암, 셰일로서 잠재적인 알칼리-실리카 반응성이 있는 것으로 실험되었다. 퇴적암 중 셰일의 경우 14일에 0.15%, 그리고 28일에 0.27%의 팽창이 발생하여 알칼리-실리카 반응성이 큰 골재임을 알 수 있었다. 퇴적암 중 28일 재령에서 이암을 제외하고 4종 모두 0.1% 이상의 팽창이 발생되었다. 이와 같이 일부 퇴적암 골재는 14일 재령 이후에 팽창이 증가되는 현상이 관찰되었다.

Table 8 Expansion results of igneous rocks by ASTM C 1260

Type of rock	Expansion rate (%)			
	7 days	14 days	21 days	28 days
Rhyolite (유문암)	0.019	0.023	0.022	0.043
Andesite (안산암)	0.009	0.005	-0.008	0.006
Diabase (휘록암)	0.015	0.027	0.052	0.052
Granite Porphyry (화강반암)	0.012	0.005	0.047	0.054
Diorite Porphyry (섬록반암)	0.020	0.021	0.031	0.026
Quartz Porphyry (석영반암)	-0.010	-0.006	0.016	0.027
Biotite Granite (흑운모화강암)	0.010	0.031	0.049	0.046
Two Mica Granite (복운모화강암)	0.066	0.133	0.197	0.195
Muscovite Granite (백운모화강암)	-0.002	-0.001	0.017	0.011
Diorite (섬록암)	0.023	0.017	0.033	0.029
Felsite (규장암)	0.040	0.163	0.200	0.237

Table 9 Expansion results of sedimentary rocks by ASTM C 1260

Type of rock	Expansion rate (%)			
	7 days	14 days	21 days	28 days
Red Siltstone (적색미사암)	-0.003	0.060	0.130	0.169
Arkose (장석사암)	0.027	0.117	0.198	0.247
Red Sandstone (적색사암)	0.044	0.115	0.188	0.223
Shale (셰일)	0.063	0.150	0.211	0.270
Mudstone (이암)	-0.008	0.011	0.019	-0.018

3.2.3 변성암

변성암에 대한 모든 팽창 실험 결과를 Table 10에 나타냈다. 충북 옥천의 점판암은 14일에 -0.003%로 팽창이 거의 발생하지 않았으나, 21일 재령에서는 0.064%의 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 충남 보령의 점판암은 14일에 0.303%의 팽창이 발생하여 반응성이 매우 큰 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 28일 재령에서는 0.417%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 충북 단양의 천매암은 14일에 0.059%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으나, 시간 경과에 따라 28일 재령에 0.194%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다.

우백질 편마암은 14일에 0.079%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났으며, 시간경과에 따라 28일 재령에 0.167%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 안구편마암은 14일에 0.042%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 시간경과에 따라 팽창이 크게 증가되지 않는 것으로 나타났다. 편암은 14일에 0.041%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 시간경과에 따라 21일 재령에서 0.116%의 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 화강편마암은 14일에 0.041%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 시간경과에 따라 21일 재령에서 0.097%의 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 규암은 14일에 -0.003%의 수축이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 28일 재령에서 -0.001%로 팽창성은 없는 것으로 나타났다. 호른펠스는 14일 재령에서 0.028%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으나, 21일 재령에서는 0.114%까지 팽창이 발생하여 시간 경과에 따라 반응성이 나타나는 것으로 사료된다. 각석암은 14일에 0.086% 팽창이 발생하였으며, 시간경과에 따라 팽창이 증가하였으며 28일 재령에 0.178%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 유리질 응회암은 14일에 0.458%로 팽창이 발생하였으며, 28 재령에서는 0.556%의 팽창이 발생하여 시험 대상 암석 중 팽창량이 가장 크게 발생하였다.

12종의 변성암 중에서 14일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 충남 보령 점판암의 0.303%의 팽창

Table 10 Expansion results of metamorphic rocks by ASTM C 1260

Type of rock	Expansion rate (%)			
	7 days	14 days	21 days	28 days
Slate A (점판암 A)	-0.007	-0.003	0.073	0.064
Slate B (점판암 B)	0.182	0.303	0.381	0.417
Phyllite (천매암)	0.037	0.059	0.136	0.194
leucocratic Gneiss (우백질편마암)	0.033	0.079	0.165	0.167
Augen Gneiss (안구상편마암)	0.002	0.042	0.053	0.048
Schist (편암)	0.014	0.041	0.102	0.116
Granite Gneiss (화강편마암)	0.006	0.041	0.097	0.116
Quartzite (규암)	0.003	-0.003	0.014	-0.001
Hornfels (호른펠스)	0.003	0.028	0.095	0.114
Amphibolite (각석암)	0.021	0.086	0.147	0.178
Vitric tuff (유리질 응회암)	0.392	0.458	0.512	0.556

과 유리질 응회암의 0.458%로서 반응성이 매우 큰 골재임을 알 수 있었다. 28일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재는 점판암, 우백질편마암, 편암, 화강편마암, 호른펠스 및 각섬암으로 나타났다. 변성암 골재는 14일 이후 시간 경과에 따라 팽창이 급격하게 증가되는 것으로 나타났다. 이와 같이 본 연구에서 실험된 점판암의 경우 지역에 따라 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창 현상이 매우 다르게 나타나는 것을 알 수 있어 지역에 따라 잠재적인 알칼리-실리카 반응성을 판정하는데 있어 신중함을 기해야 할 것으로 판단된다.

3.2.4 광물

경남 밀양 장석의 알칼리-실리카 반응 시험 결과 Table 11에서 보는 것과 같이 재령 14일에 0.002의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났고, 재령 28일에서도 팽창은 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다.

충남 대천에서 채취된 석영의 알칼리-실리카 반응 시험 결과는 Table 11과 같다. 재령 14일에 0.196의 팽창이 발생하여 초기 반응성이 큰 골재임을 알 수 있다. 충남 대천의 석영 시편은 시간 경과에 따라 재령 28일에서는 0.374까지 팽창이 발생하여 반응성이 큰 골재임을 알 수 있다.

3.3 시험 방법에 따른 비교 고찰

3.3.1 KS F 2545

화성암 골재에서는 안산암, 휘록암, 화강반암, 백운모 화강암 및 섬록암이 유해한 것으로 판정되었고, 퇴적암 골재에서는 대상 골재 모두 잠재유해 판정이 나타났다. 변성암 골재에서는 점판암, 화강 편마암 및 규암이 유해한 것으로 판정되었고, 광물에서는 석영이 잠재유해 판정으로 나타났다. 본 연구에서 수행된 실험 결과를 JIS A 1145로 판정하는 경우 KS F 2545보다는 반응성 판정이 높게 나타남을 알 수 있었다.

본 실험에서는 화성암 중 흑운모 화강암과 규장암의 경우 KS F 2545에서는 유해, JIS A 1145에서는 무해 판정으로 나타났다. 퇴적암 중 세일은 KS F 2545에서는 잠재유해, JIS A 1145에서는 무해 판정이 나타났다. 변성암 중 점판암 B는 KS F 2545에서는 유해, JIS A 1145에서는 무해 판정 나타났고, 편암은 KS F 2545에서는 무해, JIS A 1145에서는 유해 판정 나타났다. 광물 중 장석은 KS F 2545에서는 무해, JIS A 1145에서는 유해 판정으로 나타났다. Fournier 등⁹⁾의 연구에서 ASTM C 289 기준 제정은 미국산 규산질 골재로 시험된 결과이며, 이 골재에는 opal. chalcedony 및 volcanic glass와 같은 반응성 성분이 포함되어 있다. 캐나다, 남아공 및 호주에서의 알칼리 실리카 반응은 주로 석영이 포함된 골재에서 발생하며, 석영이 포함된 골재에서 화학법이 사용될 때 종종 알칼리-실리카 반응이 발견되지 않는다고 보고되었다. Bérubé 등¹⁰⁾ 연구에서 화학법은 골재 준비 단

Table 11 Expansion results of mineral by ASTM C 1260

Type of rock	Expansion rate (%)			
	7 days	14 days	21 days	28 days
Feldspar (장석)	0.010	0.002	-0.007	-0.006
Quartz (석영)	0.079	0.196	0.290	0.374

계에서 실리카 용해의 영향이 있으며, 화학법에서 유해 판정이 난 골재가 현장 공용성이 우수한 경우가 있음을 보고하였다.

3.3.2 ASTM C 1260

화성암 골재 중에서 재령 14일에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재는 복운모 화강암, 규장암이 반응성이 있는 것으로 측정되었다.

퇴적암 중에서는 재령 14일에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에서는 장석사암, 적색사암, 세일로서 잠재적인 알칼리-실리카 반응성이 있는 것으로 나타났다. 퇴적암 중 재령 28일에서 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재는 실트 스톤으로 나타났다. 일부 퇴적암 골재는 재령 14일 이후에 팽창이 증가되는 현상이 관찰되었다.

변성암 중에서 재령 14일에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재는 충남 보령 점판암에서 0.303%, 유리질 응회암에서 0.458%의 팽창이 발생하여 반응성이 매우 큰 골재임을 알 수 있었다. 재령 28일에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재는 우백질 편마암, 편암, 화강 편마암, 호른펠스 및 각섬암으로 나타났다. 변성암 골재는 재령 14일 이후 시간 경과에 따라 팽창이 급격하게 증가되는 것으로 나타났다.

광물 중 석영에서 알칼리-실리카 반응이 매우 크게 발생한 것으로 측정되어 광물의 알칼리-실리카 반응 시험의 필요성이 요구된다.

3.3.3 시험법별 비교 고찰

최근까지 국내산 골재 중 현무암과 천매암 등 특정한 몇몇 골재들이 반응성이 있는 것으로 알려져 왔다. 국내에서 주로 사용되는 KS F 2545와 KS F 2546 (시멘트와 골재의 배합에 따른 알칼리 잠재 반응 시험 방법 (모르타르 봉 시험 방법))에서 알칼리-실리카 반응에 의한 반응성 골재로 검출되지 않았던 암종들이, 본 연구의 ASTM C 1260으로 국내산 골재의 알칼리-실리카 반응성이 있는 것으로 나타났다.

퇴적암과 변성암 골재 중 적색사암과 천매암, 편암, 그리고 각섬암의 경우 ASTM C 1260 결과 재령 14일까지의 팽창 특성은 알칼리-실리카 반응이 없는 것으로 측정되나, 14일 이후 재령이 증가함에 따라 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창이 급격하게 증가하므로 재령 28일까지 또는 그 이후까지 측정하여 알칼리-실리카 반응성을 평가할 필요성이 요구되어진다.

Tables 12~15는 각각 국내산 암종에 따른 시험법별 알칼리-실리카 반응성 평가 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

Table 12 Comparison results of KS F 2545 with those of ASTM C 1260 for igneous rocks

Type of rock	KS F 2545 ⁶⁾	ASTM C 1260 ⁸⁾	JIS A 1145 ⁷⁾
Rhyolite (유문암)	None	None	None
Andesite (안산암)	Reactive	None	Possible Reactive
Diabase (회록암)	Reactive	None	Possible Reactive
Granite Porphyry (화강반암)	Reactive	None	Possible Reactive
Diorite Porphyry (섬록반암)	Possible Reactive	None	Possible Reactive
Quartz Porphyry (석영반암)	Possible Reactive	None	Possible Reactive
Biotite Granite (흑운모화강암)	None	None	None
Two Mica Granite (복운모화강암)	None	Reactive	None
Muscovite Granite (백운모화강암)	Reactive	None	Possible Reactive
Diorite (섬록암)	Reactive	None	Possible Reactive
Felsite (규장암)	None	Reactive	None

Table 13 Comparison results of KS F 2545 with those of ASTM C 1260 for sedimentary rocks

Type of rock	KS F 2545 ⁶⁾	ASTM C 1260 ⁸⁾	JIS A 1145 ⁷⁾
Red Siltstone (적색미사암)	Possible Reactive	None	Possible Reactive
Arkose (장석사암)	Possible Reactive	Reactive	Possible Reactive
Red Sandstone (적색사암)	Possible Reactive	Reactive	Possible Reactive
Shale (셰일)	Possible Reactive	Reactive	None
Mudstone (이암)	Possible Reactive	None	Possible Reactive

KS F 2545에서는 유해 판정이 나타난 암종이 ASTM C 1260에서는 팽창을 유발하지 않는 현상이 나타났고, 반면에 KS F 2545에서는 무해 판정이 나타난 암종이 ASTM C 1260에서는 반응에 의한 팽창이 발생하는 것으로 나타나 두 시험법의 상관성이 낮은 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 국내산 암석에 대해 KS F 2545와 ASTM C 1260으로 알칼리-실리카 반응 실험을 수행하여 시험법에 따른 알칼리-실리카 반응 특성을 비교·분석하였다.

Table 14 Comparison results of KS F 2545 with those of ASTM C 1260 for metamorphic rocks

Type of rock	KS F 2545 ⁶⁾	ASTM C 1260 ⁸⁾	JIS A 1145 ⁷⁾
Slate A (점판암 A)	None	None	Possible Reactive
Slate B (점판암 B)	Reactive	Reactive	None
Phyllite (천매암)	None	None	None
leucocratic Gneiss (우백질편마암)	None	Reactive	None
Augen Gneiss (안구상편마암)	None	None	None
Schist (편암)	None	None	Possible Reactive
Granite Gneiss (화강편마암)	Reactive	None	Possible Reactive
Quartzite (규암)	Reactive	None	Possible Reactive
Hornfels (호른펠스)	None	None	None
Amphibolite (각석암)	Possible Reactive	None	Possible Reactive
Vitric tuff (유리질 응회암)	Possible Reactive	Reactive	None

Table 15 Comparison results of KS F 2545 with those of ASTM C 1260 for types of mineral

Type of rock	KS F 2545 ⁶⁾	ASTM C 1260 ⁸⁾	JIS A 1145 ⁷⁾
Feldspar (장석)	None	None	Possible Reactive
Quartz (석영)	Possible Reactive	Reactive	Possible Reactive

그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) KS F 2545 결과 화성암 골재 중에서는 안산암 외 6종이 잠재유해 이상의 판정을 받았으며, 퇴적암 골재는 모든 종류가 잠재유해 판정을 받았고, 변성암 골재 중에서는 점판암 B 외 3종이 잠재유해 이상의 판정을 받았다. 또한, 광물 중에서는 석영이 잠재유해 판정으로 나타났다.
- 2) ASTM C 1260 결과 화성암 골재 중에서는 백운모 화강암 외 1종, 퇴적암 골재 중에서는 장석사암 외 2종, 변성암 골재 중에서는 점판암 B 외 2종, 광물 중에서는 석영이 반응성이 있는 것으로 판정되었다.
- 3) 퇴적암과 변성암 골재 중 일부 골재의 경우 ASTM C 1260 결과 재령 14일까지의 팽창 특성은 알칼리-실리카 반응이 없는 것으로 측정되나 그 이후 재령이 증가함에 따라 팽창이 급격하게 증가하므로

재령 28일까지 또는 그 이후까지 측정하여 알칼리-실리카 반응성을 평가할 필요성이 요구되어진다.

- 4) KS F 2545와 ASTM C 1260에 대한 시험법별 알칼리-골재 반응성 평가 결과는 서로 상이한 결과를 도출한 골재들이 나타남으로서 두 시험법의 상관성이 낮은 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Stanton, T. E., "Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate," *Proc., ASCE, Reston, VA*, 1940, pp. 1781~1811.
2. Diamond, Sidney and Barneyback, R. S., "A Prospective Measure for the Extent of Alkali-Silica Reaction," *Proceedings of Symposium held in London, September 1976*, pp. 149~162.
3. 정지근, "콘크리트구조물과 알칼리-골재 반응," 한국광물학회 광물과 산업, Vol. 6, No. 1, 1993, pp. 7~10.
4. 홍승호, "국내 콘크리트의 알칼리-실리카 반응에 대한 조사 및 억제방안," 박사학위논문, 강원대학교 대학원, 2006.
5. 홍승호, 한승환, 윤경구, "알칼리-실리카 반응에 의한 시멘트콘크리트 포장 파손사례," 콘크리트학회 논문집, 18권, 3호, 2006, pp. 355~360.
6. KS F 2545, "골재의 알칼리 잠재 반응 시험 방법 (화학적 방법)," 산업표준심의회, 1997.
7. JIS A 1145, "骨材のアルカリシリカ 反応性 試験方法 (化學法)," JIS 土木 II, 土木資材/建設用機械・用具, 日本規格協會, 2001, pp. 576~580.
8. ASTM C 1260, "Standard Test Method for Potentially Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)," American Society for Testing and Materials, 2002, pp. 684~688.
9. Fournier, Benoit, Marc-Andre Berube, and Chris a. Rogers, "Proposed Guidelines for the Prevention of Alkali-Silica Reaction in New Concrete Structures," TRR 1668 Paper No. 99-1176, 1999, pp. 48~49.
10. Bérubé, M. A. and Fournier, B., "Accelerated Test Methods for Alkali-Aggregate Reactivity. Advances in Concrete Technology (Ed. V. M. Malhotra)," CANMET/EMR, Ottawa, 1992, pp. 583~627.

요약 본 논문에서는 국내산 알칼리-실리카 반응성 암석에 대해 화학적 방법인 KS F 2545와 최근 국제적으로 많이 이용되고 있는 촉진모르타르 봉 실험 방법 (AMBT)인 ASTM C 1260으로 동일한 골재에 대해 비교 실험을 수행하여 시험법에 따른 알칼리-실리카 반응성 평가 차이를 비교·분석하였다. 실험 결과 화학적 방법인 KS F 2545에 의하여 화성암 중 안산암, 휘록암, 화강반암, 섬록반암, 석영반암, 백운모화강암 그리고 섬록암, 퇴적암의 모든 골재, 변성암 중 점판암 A, 점판암 B, 화강편마암, 규암, 각석암 및 유리질 응회암, 광물에서는 석영이 잠재유해 이상의 평가를 받았다. 촉진모르타르 봉 실험 방법 (AMBT)인 ASTM C 1260에 의하여 화성암 중 복운모 화강암 그리고 규장암, 퇴적암 중 장석사암, 적색사암 그리고 셰일, 변성암 중 점판암과 우백질 편마암 그리고 유리질 응회암, 광물 중 석영이 반응성으로 평가되었다. KS F 2545와 ASTM C 1260에 대한 시험법별 알칼리-골재 반응성 평가 결과 동일한 골재에 대해 서로 상이한 결과를 도출한 골재들이 나타남으로서 두 시험법의 상관성이 낮은 것으로 판단된다. 또한, 골재의 알칼리-골재 반응성 판별에 최근 국제적으로 많이 이용되고 있는 촉진모르타르 봉 실험 방법 (AMBT)이 보다 효율적인 것으로 판단된다.

핵심용어 : 알칼리-실리카 반응, 시멘트 콘크리트 포장, KS F 2545, ASTM C 1260, 반응성 골재